植 物 分 类 与 资 源 学 报　2013，35（3）：303～309
Plant Diversity and Resources　DOI：10.7677/ynzwyj201313036

珍稀濒危植物距瓣尾囊草种子散布及萌发特性*

张云香，胡灏禹，杨丽娟，王长宝，何兴金**
（四川大学生命科学学院 生物资源与环境教育部重点实验室，四川 成都　610064）

摘要：采用野外调查和室内实验相结合的方法，对距瓣尾囊草（*Urophysa rockii*）种子散布途径、散布方式和种子萌发特性进行初步研究。结果表明：距瓣尾囊草种子千粒重为0.6684±0.0038 g，以果实和种子为扩散单元进行扩散，具有自体扩散和水媒扩散两种方式。温度对距瓣尾囊草种子萌发有显著影响，20 ℃为最适萌发温度，发芽率达67.78%。低温（4 ℃）层积可有效提高种子发芽率和发芽势，随层积天数增加，发芽率和发芽势增加，但层积30 d和40 d发芽率和发芽势无显著性差异。光照和黑暗对种子萌发的影响差异不显著，光照不是其种子萌发的必需条件。实验证明，与用湿砂做发芽基质相比，用滤纸做发芽基质，其发芽率和发芽势均比前者高，因此滤纸是距瓣尾囊草种子萌发实验中更为适宜的发芽基质。

关键词：距瓣尾囊草；扩散单元；扩散方式；种子萌发；温度；低温层积
中图分类号：Q 948；Q 945　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095-0845(2013)03-303-07

Seed Dispersal and Germination of an Endangered and Rare Species *Urophysa rockii*（Ranunculaceae）

ZHANG Yun-Xiang，HU Hao-Yu，YANG Li-Juan，WANG Chang-Bao，HE Xing-Jin**
（*Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-Environment of Ministry of Education*，*College of Life Science*，*Sichuan University*，Chengdu 610064，China）

Abstract：The dispersal characteristics and dispersal way of seeds and the biological characteristics of seed germination of *Urophysa rockii* were investigated in this paper. Our finds showed that the 1000-seed weight of the seed was 0.6684±0.0038 g. Dispersal units of the species comprise fruits and seeds. Moreover，both autochory and hydrochory are included. The optimum temperature for germination of *U. rockii* was 20 ℃，and the germination on 20 ℃ could be as high as 67.78%. Cold stratification could significantly increase seed germination percentage and germination energy；the longer the duration of cold stratification，the higher the germination percentage. However，this effect did not work significantly if the duration was longer than 30 days. Compared with darkness，light couldn't increase seed germination percentage，so light was not indispensable for germination of *U. rockii*. We also confirmed that there were great differences for germination percentage and germination energy between two different germination media. The percentages of germination and germination energy on filter paper were 73.33% and 45% respectively，but 50% and 18.33% on wet sand. The result showed that the filter paper was a better germination media for *U. rockii* seed germination than wet sand.

Key wards：*Urophysa rockii*；Dispersal unit；Dispersal mode；Seed germination；Temperature；Cold stratification

距瓣尾囊草（*Urophysa rockii* Ulbr.）为毛茛科（Ranunculaceae）尾囊草属（*Urophysa*）植物，是

* 基金项目：科技部科技基础性工作专项重点项目（2007FY110100）；国家自然科学基金资助项目（31100161，31070166）；国家基础条件平台教学标本平台（http://mnh.scu.edu.cn/）资助
** 通讯作者：Author for correspondence；E-mail：xjhe@scu.edu.cn
收稿日期：2013-03-14，2013-04-11 接受发表
作者简介：张云香（1986-）女，在读硕士生，主要从事生物安全，保护生物学研究。E-mail：nxyunxiang23@126.com

中国特有种，仅在中国四川省江油市涪江上游区段有少量分布。1925 年，美国植物采集家约瑟夫·洛克（J. F. Rock）首次在中国四川省江油地区发现该种植物并采集其标本。1929 年，Ulbrich 发表该物种（Ulbrich, 1929）。此后一直未采集到该种植物，直至 2005 年中国科学院植物研究所李春雨博士在江油市重新发现该物种。距瓣尾囊草极其珍贵稀少，目前自然环境下共有 4 个小种群（其中一个种群因水库建设已被淹没），共 2 026 株，属于极小种群，自然更新缓慢，且数量仍在减少（王金锡和何兴金, 2011）。该种对生境要求苛刻，仅分布在起源于泥盆纪的石灰岩崖壁上，且分布的崖壁多为避开阳光直射、荫蔽的环境（王金锡和何兴金, 2011；王金锡等, 2011），加上近年来日益强烈的人类活动干扰导致生境不断恶化，其生存已经受到严重威胁。由于重新发现的时间较短，各方面研究甚少，至今仍未作为国家级重点保护植物列入红色保护名录。距瓣尾囊草，花瓣有囊状的距，与天葵属（*Semiaquilegia* Makino）和耧斗菜属（*Aquilegia* L.）亲缘关系较近，在系统演化上处于较为独特的位置，对认识和解决耧斗菜亚族（Aquilegiinae Tamura）系统发育问题具有重要的研究价值（李春雨, 2006；王金锡等, 2011）。该种冬季开花，花色鲜艳，花期较长，叶形雅致，具有较大的观赏价值，也是生物多样性的重要组成成分，因此具有重要的保护价值（李春雨, 2005；王金锡和何兴金, 2011）。

李春雨（2006）、赵亮（2011）曾用距瓣尾囊草为实验材料分别进行毛茛科耧斗菜亚族的系统学研究和毛茛科植物花形态发育性状的演化研究。近年来，部分学者对距瓣尾囊草形态学、生存现状、生物生态学特性、文献考证、群落学分析等方面进行了初步研究和探索（李春雨, 2005；刘友权等, 2007, 2009；胡进耀等, 2010；杜保国, 2010a, b；Du, 2010；王金锡和何兴金, 2011；王金锡等, 2011）。

距瓣尾囊草濒危现状的产生，除与人为因素及生境遭到破坏有关外，与其自身繁殖特性、繁殖能力密切相关。种子是植物生活史的一个重要环节，是新生命的幼小植物雏体，关系到物种种群的未来命运（赖江山等, 2003）。我们对距瓣尾囊草资源现状进行了大量的野外考察和种子采集、保藏，在此基础上进一步对距瓣尾囊草种子散播方式、传播途径及其种子萌发条件进行研究，从繁育学的角度探讨其濒危原因，探索一种能够打破种子休眠，提高萌发速率和发芽率的有效方法，从而为进一步研究该物种的种子库特点、萌发策略、人工繁育、野外种群复壮等积累数据资料，以期为珍稀濒危植物距瓣尾囊草的种质资源保存及人工繁育提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 材料和样地概况

观测和采集地点为野生距瓣尾囊草分布点之一的四川省江油市新村乡景台村（N 31°59′50.9″、E 104°52′28.0″），此地远离公路和居民区，且不在景区范围内，可避免人为因素造成的影响。新村乡景台村位于四川省江油市涪江上游，海拔 940 m。生境条件为钙质的崖壁，崖壁岩缝均有渗水痕迹。伴生物种有四川淫羊藿（*Epimedium sutchuenense* Franch.）、油桐（*Vernicia fordii* (Hemsl.) Airy-Shaw）、大叶冷水花（*Pilea martinii* Hand.-Mazz.）、团羽铁线蕨（*Adiantum capillus-junonis* Rupr.）、金星蕨（*Parathelypteris glanduligera* Ching）、地钱（*Marchantia polymorpha* L.）、葫芦藓（*Funaria hygrometrica* Hedw.）和角苔（*Anthoceros laevis* L.）等。

1.2 材料选取

在果期（2011 年 5 月和 2012 年 5 月）采收距瓣尾囊草菁葖果和种子，采收后，选取成熟、大小中等、颗粒饱满、无虫害及机械损伤的种子进行观测及萌发实验。

1.3 研究方法

1.3.1 果实及种子基本特征观测 在果熟期（2011, 2012 年 5 月）采收距瓣尾囊草果实和种子，观察记录其颜色、附属物有无，果实开裂情况，在室内于解剖镜（Olympus_SZX7）下对果实和种子观察拍照。随机取种子 50 粒，Olympus_SZX7 解剖镜下，测量其纵径、横径。随机选取 1 000 粒种子测定种子的千粒重，重复 5 次。结果以平均值±标准差表示。选取有代表性的种子，用酒精清洗干净后晾干，粘于扫描载物台上进行喷金，移入 Hitachi-SX-450 型扫描电镜下观察表皮微形态并照相，种子表面微形态术语参考刘长江等（2004）的形态描述。

1.3.2 种子扩散方式的观测 2010 年 8 ~ 12 月和 2011 年 1 ~ 8 月，在野外对距瓣尾囊草的扩散单元、扩散媒介、扩散方式以及扩散持续时间进行观察和记录。

1.3.3 种子萌发处理 (1) 不同温度处理：将经过 4 ℃ 低温层积 40 d 的距瓣尾囊草种子在光照（光照强度为 35 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$）条件下分别置于 15、20、25 和 30 ℃的恒

温箱中进行萌发实验。(2) 不同层积时间种子的萌发：将干燥的种子置于 4 ℃低温下分别层积 10、20、30、40 d 后在光照条件下置于 20 ℃恒温箱中进行萌发实验。(3) 不同光照条件处理：将低温层积 40 d 的种子分别置于光照（光照强度为 35 μmol m^{-2} s^{-1}）和黑暗条件下，进行萌发实验。(4) 不同基质条件下萌发：将低温层积 40 d 的种子，在光照条件下分别置于滤纸和细砂（经过 0.8 mm 孔筛后灭菌使用）条件下，进行萌发实验。

实验在 ING-500D 型光照培养箱中进行，在培养皿中铺相同直径的滤纸（或等量细沙）并用蒸馏水使其一直处于潮湿状态，每培养皿 30 粒种子，每处理设 3 个重复。种子萌发以胚根达到种子长度的 1/2 作为标准，每 24 h 观察一次（黑暗处理的种子，在观察和取出已萌发种子时动作要迅速，尽量缩短操作时间），对未萌发的种子放回原条件下继续观察记录，直至最后霉烂或者萌发。最后统计种子发芽率，比较不同条件下种子发芽率的差异。发芽率：正常发芽的种子数与供试种子总数的百分比；发芽势：种子发芽数达到高峰时正常发芽种子的总数与供试种子总数的百分比；发芽持续时间：以连续 5 d 种子发芽粒数平均不超过重复种子的粒数的 1% 为结束发芽。

数据统计用 Excle，结果用平均值±标准差（Mean± *SE*）表示；种子发芽情况用 SPSS19.0 进行统计分析，种子发芽率和发芽势用单因素方差分析（One-way ANOVE）和 LSD 进行比较分析，之后用单因素方差分析和 LSD 检验 3 个温度处理（15 ℃、20 ℃、25 ℃）之间发芽率和发芽势的差异；对于不同层积时间处理（10 d、20 d、30 d 和 40 d）间种子发芽率和发芽势的差异同样进行单因素方差分析和 LSD 检验，用 Origin 8.0 进行绘图。

2　结果与分析

2.1　种子形态特征及种子扩散

2.1.1　果实及种子形态特征　距瓣尾囊草果实为 5 离生心皮聚合蓇葖果，蓇葖果长 4～5 mm，宽 2～3 mm，果实表面密生明显的横脉，背缘呈紫红色，密被短柔毛，有宿存花柱呈丝状长达 7～8 mm，果实成熟时，蓇葖果逐渐木质化并变为黄色，背缘略呈紫色，果实沿心皮腹缝线纵向开裂（图 1：D）。

距瓣尾囊草每心皮可产生 5～8 枚种子，种子较小，种子千粒重为（0.6684±0.0038）g，呈暗褐色或黑色，椭圆形，纵径（2.18±0.08）mm，横径（0.97±0.07）mm。种子无任何辅助扩散结构，但种皮表面密生疣状突起，解剖镜下可见种皮表面粗糙不平，在扫描电镜下，疣状突起清晰可见，且每个大的疣状突起上还密生大小不等的较小突起（图 1：E，F）。

2.1.2　距瓣尾囊草扩散单元、扩散方式和持续时间　距瓣尾囊草以果实和种子为扩散单元，扩散方式主要为自体扩散和水媒扩散。花期结束后幼果开始形成，果柄逐渐伸长，并向母株周围各个方向延伸（图 1：A），果柄的继续伸长，将整个果实推向母株周围的岩石裂缝中（图 1：C）。在此过程中，以果实（果实+果梗）作为其主要扩散单元。果实成熟后，蓇葖果沿腹缝线自然开裂，种子借助开裂时的机械张力散落在岩石裂隙之中，完成自体扩散；裂隙水充盈时，散落的种子随岩石裂隙水径流漂浮、扩散至远离母株

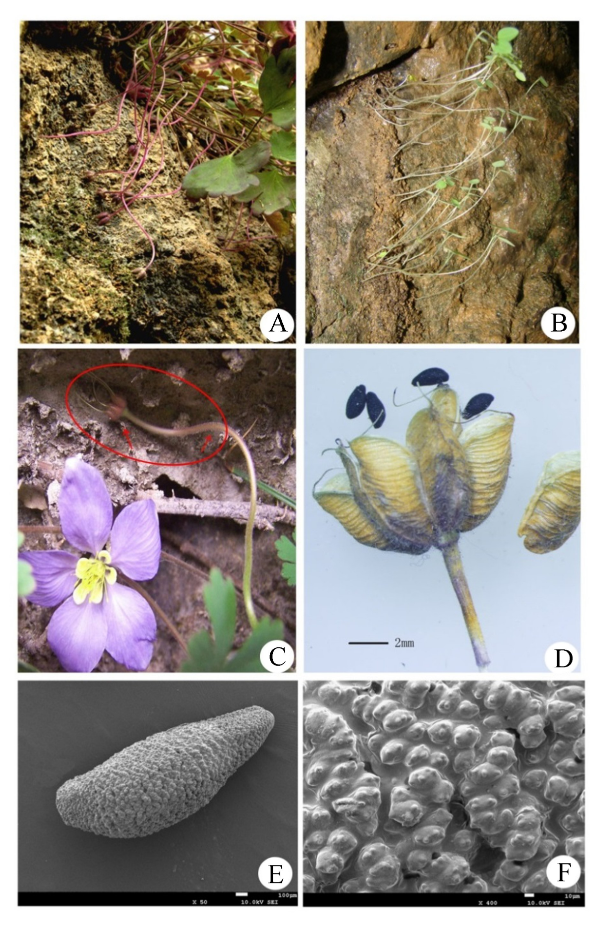


图 1　A. 果期果柄弯曲伸长；B. 裂隙中种子萌发形成实生苗；C. 果柄将果实推入裂隙；D. 果实形态；E. 种子形态；F. 种子表皮疣状突起

Fig. 1　A. Curved fruit-stalk elongate during fruit stage; B. Seedlings in the crevice; C. Fruit entered crevices of rocks with the help of fruit-stalk; D. Fruit morphology; E. Seed morphology; F. Seed surface with verrucous protrusion

的岩石缝隙及微量土壤表面，实现远距离扩散。

从扩散时间看，扩散单元离开其母株的时间可从果实形成（4～5月）开始一直持续到休眠期结束，整个扩散时间可分为三个连续的过程：扩散单元果实（包括果梗）离开母株的时间主要集中在果期4～5月，4月幼果形成后，果柄很快便自然弯曲生长，向母株周围分散伸长，并将果实推入周围岩石缝隙中，完成了以果实为扩散单元的扩散过程；5月，裂隙中的蓇葖果陆续成熟自然开裂，种子借助开裂的机械力散落于岩石缝隙中，完成扩散的第二个过程；随后季节性降水增加，岩石裂隙水增多形成径流，此时部分种子借助裂隙水的径流传播到相对较远的岩石缝隙，该过程可一直持续到种子休眠期结束。整个扩散过程相互承接，最大限度的保证种子能够到达适宜生根发芽的微环境中，从而确保后代的正常繁衍和生境空间的扩张。

2.2　距瓣尾囊草种子萌发特性

2.2.1　不同温度对距瓣尾囊草种子萌发的影响

预实验中，当年采收的种子不经任何处理，直接置于15、20、25和30 ℃恒温条件下，在相应时间内均不能正常萌发，说明距瓣尾囊草种子存在休眠，故实验中选用经低温层积后的种子。

实验中，光照条件下经低温层积40 d的种子，温度对其发芽率和发芽势均有显著影响，种子萌发的最适温度为20 ℃，20 ℃时种子的发芽率和发芽势均显著（前者 $F_{2,8}=13.179$，$P<0.05$；后者 $F_{2,8}=16.997$，$P<0.05$）高于15 ℃和25 ℃。在恒温30 ℃条件下种子不能萌发，恒温15、20和25 ℃条件下均能够萌发，但萌发情况差异较大，20 ℃时发芽率和发芽势最高，分别为（67.78±12.57)%、(33.33±5.77)%，25 ℃次之，为（42.22±4.15)%、(14.44±1.93)%，15 ℃时最低，发芽率和发芽势分别为（28.89±1.92)%和（14.44±5.09)%。播种后第16 d开始发芽，但整个发芽进程和发芽结果均有很大差别（图2：A)。在恒温20 ℃条件下，种子在第21 d的发芽率为33.33%，达到最大发芽率的49%，而在恒温25 ℃条件下第21 d时的发芽率仅为4.44%，到第30 d才达到33.33%的水平。恒温15 ℃和25 ℃处理间种子发芽率和发芽势均无显著性差异（$P>0.05$）。

2.2.2　不同低温层积时间对距瓣尾囊草种子萌发的影响

距瓣尾囊草种子经不同的低温层积时间后的萌发结果（图2：B）表明，低温层积可有效提高其种子萌发率。在恒温20 ℃和光照条件下，低温层积处理对距瓣尾囊草种子的发芽率和发芽势均有极显著（前者 $F_{3,11}=29.018$，$P<0.001$；后者 $F_{3,11}=18.349$，$P=0.001$）的作用。即随着层积时间的增加，可以明显提高种子的发芽率和发芽势。低温层积40 d的种子发芽率和发芽势最高，分别为（58.89±10.18)%和(43.33±8.82)%。处理40 d和30 d的种子发芽率和发芽势均显著（$P<0.05$）高于处理10 d(14.44±5.09)%、(6.67±3.34)%和20 d的发芽率（31.11±3.84)%及发芽势（20.00±3.33)%，处理10 d和20 d的种子发芽率和发芽势差异显著（前者 $P=0.014$，后者 $P=0.037$），但40 d和30 d处理间的发芽率和发芽势均无显著性差异（前者 $P=0.246$，后者 $P=0.134$）。

2.2.3　不同光照对距瓣尾囊草种子萌发的影响

在光照和黑暗条件下，距瓣尾囊草种子均能够正常发芽，发芽率分别为(50.00±12.25)%、(61.67±12.47)%，发芽势分别为（35.00±12.58)%、(46.67±12.47)%（图2：C)。在两种处理条件下距瓣尾囊草种子最终发芽率和发芽势均无显著差异（前者 $F_{1,5}=0.891$，$P=0.399$；后者 $F_{1,5}=0.338$，$P=0.592$），说明距瓣尾囊草为中性种子，光照对于距瓣尾囊草种子萌发并不是必需条件。

2.2.4　不同发芽基质对距瓣尾囊草种子萌发影响

由图2D可以看出，在滤纸和湿砂两种基质上，距瓣尾囊草种子分别在实验开始后18天、20天开始萌发，整个发芽率和发芽结果均有很大差别。在滤纸和湿砂上的发芽率分别为（73.33±6.23)%和（50.00±12.25)%（图2：D)，发芽势分别为（45.00±8.66)%和（18.33±3.53)%，两者均存在显著性差异（$F_{1,5}=10.765$，$P<0.05$；$F_{1,5}=9.286$，$P<0.05$），显然对于距瓣尾囊草种子发芽而言，滤纸是距瓣尾囊草种子萌发实验更为适合的发芽基质。

3　讨论

3.1　种子与果实的形态特征与扩散的适应性

千粒重是反映种子质量的一个很重要的参数，

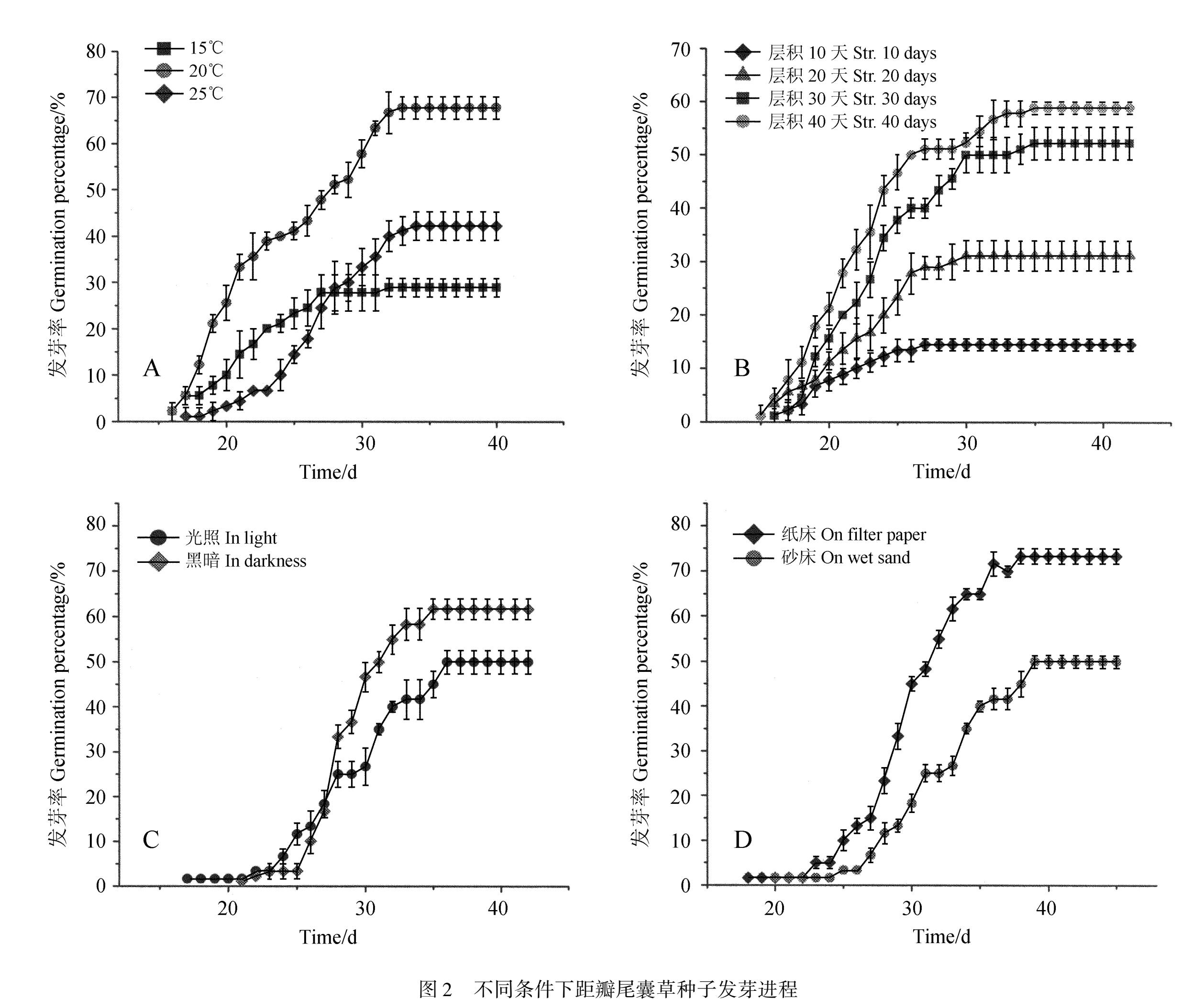


图 2　不同条件下距瓣尾囊草种子发芽进程

A. 不同温度条件；B. 不同层积天数条件；C. 不同光照条件；D. 不同发芽基质

Fig. 2　The seed germination of *U. rockii* in different conditions (mean ± SE)

A. Different temperature; B. Different stratification; C. Different light condition; D. On different germination media

千粒重的大小代表了种子内所蕴含的营养物质的多少，种子包含的营养物质越多，越有利于种子的萌发生长（盛海燕，2002；张文辉，2006）。距瓣尾囊草种子千粒重为（0.6684 ± 0.0038）g，种子相对较小，种皮表面凹凸不平，密布大小不等的疣状突起。由于疣状突起的存在使种皮表面粗糙，形成众多沟槽，一方面可以有效的提高种子对土壤的黏着力，另一方面使种子的表面积增加，从而增加种子与空气，水分、土壤及其他营养成分的接触面积，有利于其在有限的生存空间内获得萌发所需的营养物质。有研究表明，一些散布体具有特殊组织，如含油、含气室或含比重较轻的组织（如木栓组织）帮助散布体漂浮在水面（马绍兵和李德铢，2002）；而且种子轻，能随着水流到达新的合适的微环境，为植物提供可能的新生境类型（盛海燕，2004）。距瓣尾囊草种子解剖结构显示其表皮组织木栓化，且种子轻，均有利于其种子随岩石裂隙水径流漂浮至远离母株的微环境，从而实现较远距离的传播。此外，距瓣尾囊草果实表面密集的柔毛及其丝状的宿存花柱，有助于果实与裂缝中土壤接触，保证果实附着并保留于石缝中。

3.2　扩散单元、扩散方式及其对生存环境的适应

距瓣尾囊草生境特殊，植株着生环境绝大部分是垂直崖壁的岩石缝隙，种子传播过程也是在垂直崖壁上进行，在长期的繁衍与选择过程中，距瓣尾囊草演化并选择了其特殊的传播方式。种子传播过程中先后以果实和种子为扩散单元，借

助果柄的弯曲伸长来拓展扩散范围，寻找新的着生地点。其果柄伸长的过程中果实并不开裂，在垂直的着生环境中，闭合的蓇葖果能够保证种子在到达安全岛之前不会散落于崖下或其他不适环境中，并且在一定程度上能够防止动物的啃食。果柄的自然弯曲和伸长可以更为准确的将蓇葖果推入适宜生长的石灰岩岩石缝隙中，增大子代到达适宜萌发的安全岛（safe side）（Harper，1977）的几率。如果植物一次结实生成的种子数很多，并主要散布在母体周围，那么这些种子之间将会为有限的资源空间展开竞争，导致密度依赖的幼苗死亡率增加（张大勇，2004）。距瓣尾囊草借助果柄伸长将果实推入离开母株的其他岩缝中，而非直接将子代留在母株着生的岩缝中，完全避开子代与母株对同一有限生存空间（即同一岩缝）的竞争，不仅为子代到达适宜微生境提供了机会，而且为母株的持续生长提供了保障。此外，距瓣尾囊草种子可借助裂隙水径流实现远距离扩散，除增加其到达安全岛、实现定居的几率外，还实现了种子的远距离扩散，减少同胞子代共享同一岩石缝隙所产生的同胞之间对资源的竞争（图1：B）。距瓣尾囊草这一特殊的扩散过程是与其生存环境长期适应的结果。

3.3　萌发特性

种子的萌发受到光照、温度、水分的影响（罗亚皇和张玲，2013）。本研究发现，温度对距瓣尾囊草种子的萌发有显著的影响，20 ℃为种子萌发的最适温度，萌发率可达67%以上，高温30 ℃可能使种子失去活性导致其不能萌发，而15 ℃时其萌发在也一定程度上受到抑制。距瓣尾囊草的生殖策略特殊，冬季开花，夏季休眠，除了与其自身的遗传特性相关，很大程度上与其生长环境有密不可分的关系。其生长地四川江油地区，在7月环境温度最高，接近30 ℃左右（王金锡等，2011），而此时恰是距瓣尾囊草的休眠期。8～9月，环境温度开始逐渐降低，此时自然生境下的距瓣尾囊草种子完成休眠陆续开始萌发形成实生苗（图1：B）。植物的生活周期中，种子对环境具有最大的忍耐力（Gutterman，1993），种子休眠是某些植物在长期的系统发育过程中形成的抵抗外界不良环境条件以保护物种不断发展与进化的生态特性，是调节种子萌发的最佳时间以及植株空间分布的一种机制（宋松泉等，2008）。距瓣尾囊草种子夏季休眠在时间上避开了高温的不良环境。

自然条件下距瓣尾囊草实生苗数量稀少，仅有少部分散播在有裂隙水的岩石缝隙中的种子成功萌发形成实生苗，经过数年的生长进而形成成年植株（王金锡等，2011）。笔者参与的距瓣尾囊草野外育苗实验结果也表明，其野外条件下种子萌发率极低，仅为百分之二左右；且种子在5～7月处于休眠状态，萌发周期长。本研究中，距瓣尾囊草种子经过低温层积可有效打破休眠，缩短其萌发时间，且在实验室内可控条件下，低温层积能够有效提高其萌发率，随层积时间的延长，发芽率显著增加，可达58%以上。层积30 d和40 d的最终发芽率和发芽势差异不显著，说明对于距瓣尾囊草层积一个月以上可以达到解除休眠的效果，同时也说明，距瓣尾囊草种子可能存在一定的生理后熟。

光照对距瓣尾囊草种子的萌发并无显著影响，这可能与距瓣尾囊草多着生于避开阳光直射的较为隐蔽的岩壁，并且种子传播和萌发均在岩石缝隙当中完成有关，光照不是其种子萌发的必须条件。滤纸作为一种种子发芽实验最常用的置床基质，具有方便、少污染、成本低的优点（赖江山等，2003）。对于距瓣尾囊草的这种小型种子用滤纸做发芽基质，可以充分保证其对水分的吸收，而且还可以保证种子与空气充分接触，满足种子萌发对氧气的需求，本实验结果证明距瓣尾囊草种子萌发基质选滤纸较好。

距瓣尾囊草种子的散布方式和休眠是长期适应环境形成的一种生态对策，在自然条件下距瓣尾囊草种子发芽率低，且幼苗定居过程死亡率高，所以能够真正度过环境筛选发育成幼苗并成长为成熟植株的个体数量更少。在长期选择的过程中距瓣尾囊草进化出特有的生存对策以适应其特殊的生存环境，但同时也对环境有着很强的依赖性，可以说距瓣尾囊草对环境依赖性强的生殖过程，是其种群生活史中最脆弱的环节，种群生殖能力低下是其处于濒危状态的主要原因之一。建议在人工抚育过程中，以低温层积法度过种子休眠和种子的生理后熟过程，之后采取室内萌发，以保证较高的萌发率和幼苗成活率，待幼苗

成活后，再进行野外移植和野外种群的复壮。

〔参 考 文 献〕

李春雨, 2006. 毛茛科耧斗菜亚族 *Aquilegiinae* Tamura 的系统学研究［D］. 北京：中国科学院研究生院

盛海燕, 2004. 濒危植物明党参的生态策略研究［D］. 杭州：浙江大学, 41

宋松泉, 程红焱, 姜孝成, 2008. 种子生物学［M］. 北京：科学出版社

张大勇, 2004. 植物生活史进化与繁殖生态学［M］. 北京：科学出版社

赵亮, 2011. 毛茛科植物花形态发育性状的演化研究［D］. 西安：陕西师范大学, 24, 78

Du BG, 2010. *Urophysa rockii* Ulbr., a rare and endangered plant needs urgent conservation［J］. *Current Science*, **99**（4）: 419—420

Du BG（杜保国）, Yang FL（杨锋利）, Cheng CG（陈存根）*et al.*, 2010a. The tissue culture of endangered *Urophysa rockii*［J］. *Jiangshu Agricultural Sciences*（江苏农业科学）, **4**: 42—43

Du BG（杜保国）, Zhu DY（朱东阳）, Yang YJ（杨娅君）*et al.*, 2010b. Living situation and protection strategies of endangered *Urophysa rockii*［J］. *Jiangshu Agricultural Sciences*（江苏农业科学）, **1**: 324—325

Gutterman Y, 1993. *Seed Germination in Desert Plants. Adaptations of Desert Organisms*［M］. Berlin: Springer-Verlag

Harper PJ, 1977. *Population Biology of Plants*［M］. New York: Academic Press

Hu YJ（胡进耀）, Luo D（罗丹）, Jing XH（景晓宏）*et al.*, 2010. Preliminary study on physical and chemical properties of *Urophysa rockii* populations［J］. *Journal of Mianyang Normal University*（绵阳师范学院学报）, **29**（2）: 71—75

Lai JS（赖江山）, Li QM（李庆梅）, Xie ZQ（谢宗强）, 2003. Seed germinating characteristics of the endangered plant *Abies chensiensis*［J］. *Acta Phytoecologica Sinica*（植物生态学报）, **27**（5）: 661—666

Liu CJ（刘长江）, Lin Q（林祁）, He JX（贺建秀）, 2004. Methods and terminology of study on seed morphology from China［J］. *Acta Botanica Boreal-Occidentalia Sinica*（西北植物学报）, **24**（1）: 178—188

Li CY（李春雨）, 2005. Appeal to save *Urophysa rockii*［J］. *China Green Times*（中国绿色时报）, **7**（9）: 3

Liu YQ（刘友权）, Xu ZY（徐作英）, Zhao X（赵勋）*et al.*, 2009. Living environment and cultivation experiments of *Urophysa rockii*［J］. *China Seed Industry*（中国种业）, **2**: 69—70

Liu YQ（刘友权）, Liu G（刘刚）, Zhao X（赵勋）*et al.*, 2007. Biological and ecological characteristics and cultivation experiments of *Urophysa rockii*［J］. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*（四川林业科技）, **28**（2）: 47—48

Luo YH（罗亚皇）, Zhang L（张玲）, 2013. Germination characteristics of *Dendrophthoe pentandra* seed［J］. *Plant Diversity and Resources*（植物分类与资源学报）, **35**（1）: 73—80

Ma SB（马绍宾）, Li DZ（李德铢）, 2002. Dispersal and evolution in higher plants Ⅰ. Diaspores, their quantity and life span as well as dispersal mechanisms［J］. *Acta Botanica Yunnanica*（云南植物研究）, **24**: 569—582

Sheng HY（盛海燕）, Chang J（常杰）, Yin XW（殷现伟）*et al.*, 2002. Seed dispersal and seed bank dynamics of the endangered *Changium smyrnioides*［J］. *Biodiversity Science*（生物多样性）, **10**（3）: 269—273

Ulbrich E, 1929. Ranunculaceae novae vel criticae VIII［J］. *Notizb-latt des Botanischen Gartens und Museums zu Berlin-Dahlem*, **10**: 870

Wang JX（王金锡）, He XJ（何兴金）, 2011. Preliminary study on *Urophysa rockii*. Ⅰ Literature research and biological characteristics of *Urophysa rockii*［J］. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*（四川林业科技）, **32**（3）: 69—73

Wang JX（王金锡）, He XJ（何兴金）, Xu W（徐玮）*et al.*, 2011. Preliminary study on *Urophysa rockii*. Ⅱ Biological characteristics, ecological characteristics and community analysis［J］. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*（四川林业科技）, **32**（4）: 28—39

Zhang WH（张文辉）, Xu XB（许晓波）, Zhou JY（周建云）, 2006. Study on reproduction ecology of endangered species *Abies chensiensis*［J］. *Acta Ecologica Sinica*（生态学报）, **26**（8）: 2417—2424